Journal of Sustainable Energy Systems

Home Page: https://ses.ut.ac.ir

Research Paper

Reducing the Hospital's Energy Consumption via Providing an Advanced Energy System with Design-Builder Software

Setare Peirow*, Fatemeh Razi Astaraie

Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received 04 May 2022
Revised 04 June 2022
Accepted 05 July 2022

Keywords:
Energy efficiency
Thermal recovery
Hospital's energy system
Design-Builder software

ABSTRACT

In hospitals, the issue of energy conservation, indoor climate control, and air conditioning is of particular importance, due to the high complexity and strict considerations in terms of comfort and safety. Hence, energy performance evaluation and energy efficiency measures for hospital departments are more complex compared to other buildings. In this study, the energy system of a hospital has been modeled using Design-Builder software and the results have been validated by the hospital's energy bills. Then, several scenarios have been proposed in order to reduce the energy demand for heating or cooling and improve the efficiency of primary energy systems. The amount of energy conservation in each scenario has been estimated. Ghiasi Hospital, located in the southwest of Tehran, was selected as the case study. Based on the modeling step, the current energy system of the hospital consumes 3.08 GWh of electricity and 4.23 GWh of gas annually. Adding a thermal recovery system can reduce the gas consumption of the system by 30%. On the other hand, improving the lighting system can save 22% in electricity consumption.

Introduction

Hospitals are among buildings with high energy consumption and complex energy system due to the use of several diagnostic and treatment equipment. Therefore, reducing hospitals' energy consumption by improving the efficiency of different parts of the system will control the environmental impact of this part and increase overall sustainability. In this research, the energy system of a hospital as a complex and large-scale structure was studied and the feasibility of improving the efficiency of its energy system via various approaches has been investigated.

Model description

A hospital located in Tehran, Iran was selected as the case study and its energy system has been simulated using Design-Builder software. The validity of the obtained model has been confirmed using energy bills. Then, several scenarios have been proposed to reduce the energy consumption of the system and the amount of energy reduction caused by them has been estimated using software. These scenarios include the use of a heat recovery system, improvement of building sealing, improvement of building shells and improvement of the lighting system.

Results and discussions

Based on the modeling results, the current energy system of the hospital consumes 3.08 GWh of electricity and 4.23 GWh of gas annually. Adding a thermal recovery system can reduce the gas consumption of the system by 30%. On the other hand, improving the lighting system can save 22% in electricity consumption. Insulating the system reduces the energy required for heating by 7% and reduces gas consumption by 5% in the winter season. Improving the sealing of the building reduces the annual consumption of gas by 2%.

Each of the proposed scenarios reduces a certain amount of annual energy consumption in the model. By comparing the reduction rate of different scenarios, it is possible to compare their role in reducing the system's energy consumption. Adding heat recovery (scenario A) technology to the energy system has the leading role in reducing system gas consumption and causes a 68% reduction in annual heating and a 30% saving in annual gas consumption, which is the most effective scenario for system gas consumption.

* Corresponding Author, Email: peirow@ut.ac.ir

Insulating the system (scenario B) reduces the energy required for heating by 7% and decreases gas consumption by 5% in the winter season, and after scenario A, it ranks second in the area of reducing the model's gas consumption.

The improvement of the lighting system has the greatest effect on the system's electricity demand and causes a 22% reduction in the model's electricity demand.

Improving the sealing of the building reduces the annual consumption of gas and electricity by 2% and 0.6%, respectively. Although it has an insignificant effect on reducing energy consumption compared with other scenarios, it can be a suitable option to moderate the energy consumption of the model, if its operational costs are reasonable.

Due to the higher price of electricity than gas, scenarios that decrease electricity consumption have a greater impact on reducing cost. All operational and economic aspects should be considered to choose the best scenario.

سیستم‌های انرژی پایدار، دورهٔ ۱، شمارهٔ ۴، پاییز ۲۰۲۲، ص ۳۳۹-۳۲۹

فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: https://ses.ut.ac.ir

مقالهٔ پژوهشی

کاهش مصرف انرژی بیمارستان و ارائهٔ یک سیستم انرژی پیشرفته با کمک نرم‌افزار Design-Builder

ستاره پیرو[1*]، فاطمه راضی آستارایی[2]

۱. دانش‌آموختهٔ دکتری دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران

۲. دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۲/۱۴

تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۰۳/۱۴

تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۴/۱۴

کلیدواژه:

مدل‌سازی عددی

بازدهی انرژی

بازیابی حرارتی

سیستم انرژی بیمارستان

نرم‌افزار Design-Builder.

چکیده

در بیمارستان‌ها موضوع پایداری تأمین از انرژی، کنترل اقلیم داخلی و تهویهٔ هوا اهمیت ویژه‌ای دارد که دلیل آن پیچیدگی‌های زیاد و ملاحظات دقیق از لحاظ آسایش و ایمنی است. از این‌رو، ارزیابی عملکرد سیستم‌های عرضهٔ انرژی و اقدامات مربوط به بازدهی انرژی برای بخش‌های مختلف بیمارستان در مقایسه با سایر ساختمان‌ها از پیچیدگی‌های بیشتری برخوردار است. در این پژوهش سیستم انرژی یک بیمارستان به عنوان مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Design-Builder مدل‌سازی شده و نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از قبض‌های انرژی بیمارستان اعتبارسنجی شده است. سپس، سناریوهایی در راستای کاهش تقاضای انرژی حرارتی یا سرمایشی و بهبود کارایی سیستم‌های انرژی اولیه مطرح شده و میزان کاهش انرژی ناشی از آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار برآورد شده است. این سناریوها که در راستای ارتقای سیستم انرژی مطرح شده‌اند؛ شامل استفاده از سیستم بازیابی حرارتی، بهبود درزبندی ساختمان، بهبود پوستهٔ بنا و بهبود سیستم روشنایی است. برای انجام این پروژه، بیمارستان غیاثی واقع در جنوب غرب تهران به عنوان مورد مطالعه انتخاب شده است. بر اساس مدل‌سازی انجام‌شده، سیستم انرژی فعلی بیمارستان سالانه ۳/۰۸ GWh برق و ۴/۲۳ GWh گاز مصرف می‌کند که با پیاده‌سازی سناریوهای مختلف انرژی می‌توان میزان مصرف سالانهٔ حامل‌های انرژی را کاهش داد. بررسی‌ها و مدل‌سازی‌های انجام‌شده نشان داد اضافه کردن سیستم بازیابی حرارتی می‌تواند باعث کاهش ۳۰ درصدی مصرف گاز سیستم شود. از طرفی، بهبود سیستم روشنایی می‌تواند سبب صرفه‌جویی ۲۲ درصدی در مصرف برق شود.

۱. مقدمه

بیمارستان‌ها به دلیل وسعت زیاد و استفاده از انواع تجهیزات تشخیصی و درمانی جزء ساختمان‌هایی با مصرف انرژی بالا هستند [۱]. در ساخت بیشتر بیمارستان‌های موجود، مسائل مربوط به بهینه‌سازی مصرف انرژی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در حقیقت، طی چند دههٔ گذشته، به دلیل کم بودن هزینه‌های تأمین انرژی و کم‌توجهی به موضوع پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی فعالیت‌های انسانی، طراحی و ساخت بیمارستان‌ها تنها با هدف تأمین استانداردهای بهداشتی مورد نیاز و با نادیده گرفتن تأثیر کارایی انرژی بر ساختمان صورت گرفته است [۲]. بنابراین، اگرچه طراحی بیمارستان‌های جدید با کارایی بالای انرژی ضروری است، اما باید توجه ویژه‌ای به وضعیت انرژی ساختمان‌های بیمارستان‌های موجود لحاظ شود تا بتوان به کاهش قابل توجهی در اثرات زیست‌محیطی این بخش رسید [۳]. در مورد بحث انرژی

* نویسندهٔ مسئول

Email: peirow@ut.ac.ir

در بیمارستان‌ها مطالعات مختلفی با دیدگاه‌های مختلف به چاپ رسیده است. برخی از مطالعاتی که در زمینهٔ کاهش مصرف انرژی بیمارستان‌ها انجام شده به شرح زیر است.

Carbonari و همکاران (۲۰۱۵) [۴] با بررسی سه بیمارستان تخصصی و دو کلینیک عمومی در ایتالیا امکان‌سنجی اقتصادی راهبردهای مدرن‌سازی در آن‌ها را مورد ارزیابی قرار دادند. استراتژی‌های توصیه‌شده در این مقاله شامل عایق‌بندی بهتر دیوارها و پوشش ساختمان، افزایش تجهیزات مکانیکی و روشنایی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و تنظیم بهتر سیستم‌ها است. در نهایت، دوره‌های بازپرداخت برای محتمل‌ترین سناریوها مورد ارزیابی قرار گرفت.

Morgenstern و همکاران (۲۰۱۶) [۵] به بررسی چگونگی تعیین معیارهای انرژی برای یک بیمارستان پرداختند؛ به طوری که منعکس‌کنندهٔ مدیریت صحیح انرژی و طراحی بیمارستان باشد. در این مطالعه میزان مصرف الکتریسیتهٔ ۲۸ قسمت مختلف در ۸ بیمارستان اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده بخش‌های مختلف بیمارستان دارای ویژگی‌های مصرف برق بسیار متنوعی هستند، به طوری که بخش‌های عمومی، کلینیک‌های روزانه و برخی از بخش‌های دیگر شدت مصرف متوسط کمتری دارند؛ در حالی که اتاق عمل، آزمایشگاه‌ها و همچنین بخش‌هایی مانند تصویربرداری و رادیوتراپی شدت مصرف بسیار بیشتری را از اهداف موجود نشان می‌دهند. به طور کلی، این یافته‌ها نشان داد بازنگری اهداف فعلی برق بر اساس یک مطالعهٔ موردی گسترده ارزش بالقوه‌ای به عنوان یک ابزار برای کاهش مصرف انرژی عملیاتی دارد.

Gao و همکاران (۲۰۱۶) [۶] طی یک آزمایش میدانی از مصرف انرژی، برآوردی از پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در بیمارستان‌ها را به دست آوردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد نیمی از مصرف انرژی بیمارستان مربوط به مصرف الکتریسیته است و عمدهٔ مصرف الکتریسیته مربوط به سیستم روشنایی است.

در سال ۲۰۱۷ مقاله‌ای تحت عنوان «امکان‌سنجی فنی - اقتصادی سیستم‌های CHP[1] در بیمارستان‌های بزرگ با استفاده از روش مرکز انرژی» توسط Biglia و همکاران به چاپ رسید [۷]. این مقاله نوعی روش مبتنی بر مدل مرکز انرژی برای تجزیه‌وتحلیل انرژی و اقتصادی یک مجتمع بزرگ بیمارستان واقع در ساردینیا (ایتالیا) ارائه داد. مدل ارائه‌شده نوعی ابزار ارزشمند برای ارزیابی صرفه‌جویی احتمالی انرژی و اقتصادی و طراحی و بهینه سازی هر نوع سیستم چندگانهٔ انرژی ساختمان‌ها و نه فقط بیمارستان‌ها است.

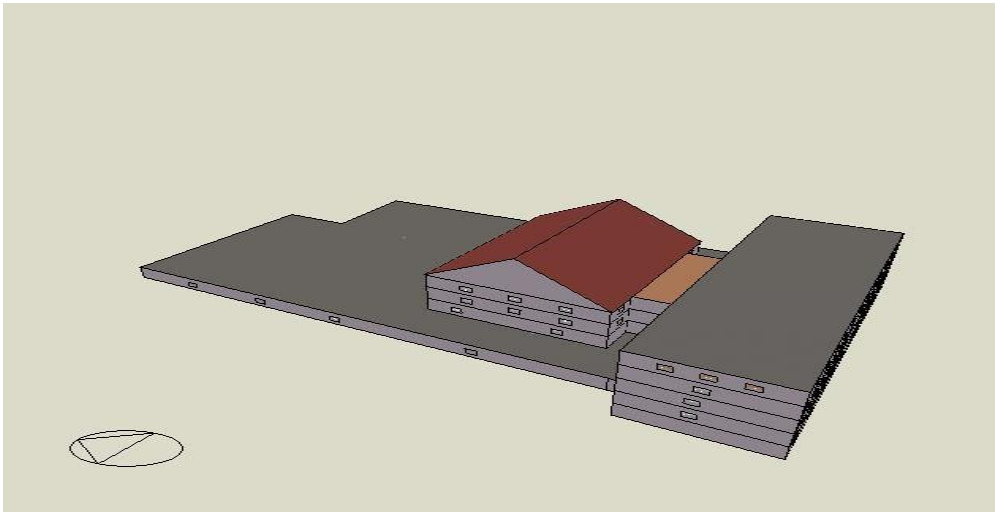
ضعف عمدهٔ مطالعات پیشین عدم پرداختن به سیستم انرژی بیمارستان به عنوان یک سیستم یکپارچه است که علت اصلی آن پیچیدگی مدل‌سازی و وسعت بالای سیستم مربوطه است، اما مدل‌سازی با نرم‌افزار دیزاین بیلدر امکان بررسی همه‌جانبهٔ سیستم انرژی بیمارستان و بررسی راهکارهای بهبود سیستم را فراهم می‌کند.

در این پژوهش، ابتدا یک رویکرد طراحی مرجع در مورد وضعیت ساختمان فعلی، یعنی ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان پایه انجام شده است. در این ارزیابی، سیستم انرژی بیمارستان با تمام پیچیدگی‌های مربوطه به عنوان یک سیستم یکپارچه در نرم‌افزار Design-Builder مدل‌سازی شده و کاربری هر بخش از بیمارستان در نرم‌افزار مشخص شده است. نرم‌افزار یادشده برای مدل‌سازی ساختمان از جنبه‌های مختلف مثل فیزیک ساختمان (مصالح ساختمانی)، معماری ساختمان، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی و غیره کاربرد داشته و قابلیت مدل‌سازی همهٔ جنبه‌های ساختمان را دارد [۸]. سپس سناریوهایی در راستای کاهش مصرف انرژی و ارتقای بازدهی سیستم انرژی مطرح شده و تأثیر هر یک از سناریوها بر سیستم انرژی بیمارستان با استفاده از نرم‌افزار مشخص شده است. میزان کاهش در تقاضای سالانهٔ حامل‌های انرژی و مصرف بخش‌های مختلف با سناریوی پایه یعنی وضعیت کنونی سیستم مقایسه شده است.

۲. مواد و روش‌ها

بیمارستان تخصصی غیاثی واقع در جنوب غرب تهران به عنوان مورد مطالعهٔ این تحقیق در نظر گرفته شده است. این بیمارستان در زمینی به متراژ ۱۷۳۰۰ متر مربع و در ۶ طبقه ساخته شده است و مجموع مساحت طبقات بیمارستان ۱۶ هزار متر مربع است. تعداد تخت‌های بستری این مرکزی درمانی حدود ۲۴۵ تخت است. شکل ۱ نمای این بیمارستان را در مدل‌سازی نرم‌افزار نشان می‌دهد.

1. Combined Heat and Power



شکل ۱. نمای کلی بیمارستان (رسم‌شده در Design-Builder)

سیستم انرژی فعلی بیمارستان با در اختیار داشتن نقشهٔ بیمارستان، اطلاعات دقیق سیستم انرژی، جنس مصالح به‌کاررفته در بنا و موقعیت قرارگیری بیمارستان با استفاده از نرم‌افزار Design-Builder مدل‌سازی شده است. تطبیق نتایج خروجی سالانه با قبض‌های مصرفی انرژی بیمارستان، صحت مدل‌سازی را تأیید می‌کند.

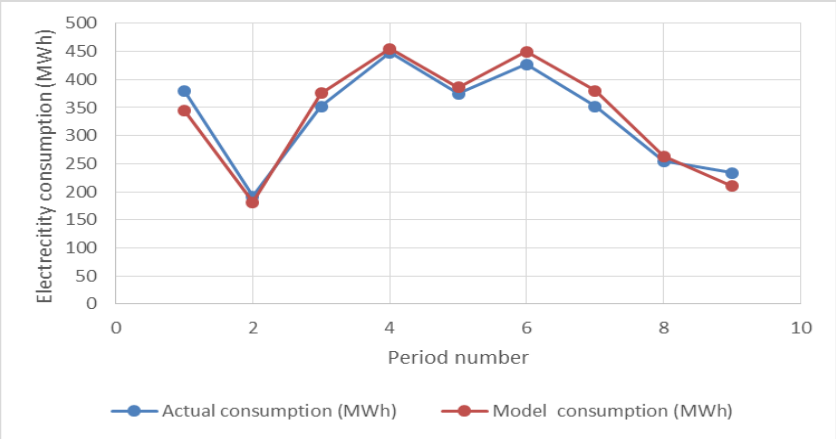
۲. ۱. اعتبارسنجی مدل تولیدشده توسط نرم‌افزار

برای اعتبارسنجی نتایج به‌دست‌آمده و مقایسهٔ آن با عملکرد سیستم انرژی بیمارستان، خروجی‌ها به صورت ماه‌به‌ماه و بر اساس تاریخ قبض‌های انرژی بیمارستان نمایش داده می‌شود تا میزان مصرف گاز و الکتریسیته مدل با سیستم موجود مقایسه شود. بر این اساس، میزان مصرف الکتریسیته در مدل ساخته‌شده اختلاف اندکی با قبض برق بیمارستان دارد و خطای مدل‌سازی کمتر از ۱۰ درصد است که این امر صحت مدل‌سازی را اثبات می‌کند.

جدول ۱ حاوی اطلاعات مربوط به قبض الکتریسیتهٔ بیمارستان و میزان مصرف برق مدل است. خطای مدل در هر بازه اندازه‌گیری و در جدول ۱ ثبت شده است. با توجه به جدول یادشده طی دورهٔ شبیه‌سازی میزان مصرف برق مدل ۳/۰۴۵ GWh است؛ در حالی که میزان مصرف واقعی بر اساس قبض برق بیمارستان ۳/۰۱۲ GWh را نشان می‌دهد. که بر این اساس خطای مدل‌سازی ۱ درصد است که عدد قابل قبولی است و صحت مدل‌سازی را نشان می‌دهد. شکل ۲ نیز نمودارهای مربوط به مصرف برق خروجی نرم‌افزار و قبض برق بیمارستان را در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد که تطابق زیادی با یکدیگر دارند.

جدول ۱. اطلاعات قبض برق و مقایسهٔ آن با خروجی مدل‌سازی

شمارهٔ دوره	شروع دوره	پایان دوره	زمان میلادی	طول دوره	مصرف واقعی برق MWh	مصرف برق مدل	درصد خطای نسبی
۱	۹۷/۱۱/۲۴	۹۸/۱/۲۰	13Feb-9Apr	۵۵	۳۷۹,۲	۳۴۴	۹
۲	۹۸/۱/۲۰	۲/۱۸	9Apr-8May	۲۹	۱۹۲	۱۸۱	۵
۳	۲/۱۸	۳/۱۹	8May-9June	۳۲	۳۵۲	۳۷۶	۶
۴	۳/۱۹	۴/۲۱	9June-12July	۳۳	۴۴۸	۴۵۵	۱
۵	۴/۲۱	۵/۱۵	12July-6Agust	۲۵	۳۷۴,۴	۳۸۶	۳
۶	۵/۱۵	۶/۱۵	6Agust-6Sep	۳۱	۴۲۷,۲	۴۵۰	۵
۷	۶/۱۵	۷/۱۲	6Sep-4Oct	۲۸	۳۵۲	۳۸۰	۷
۸	۷/۱۲	۸/۱۲	4Oct-3Nov	۳۰	۲۵۴,۴	۲۶۳	۳
۹	۸/۱۲	۹/۱۶	3Nov-7Dec	۳۴	۲۳۳,۶	۲۱۰	۹
	مجموع			297	3012.8	3045	1

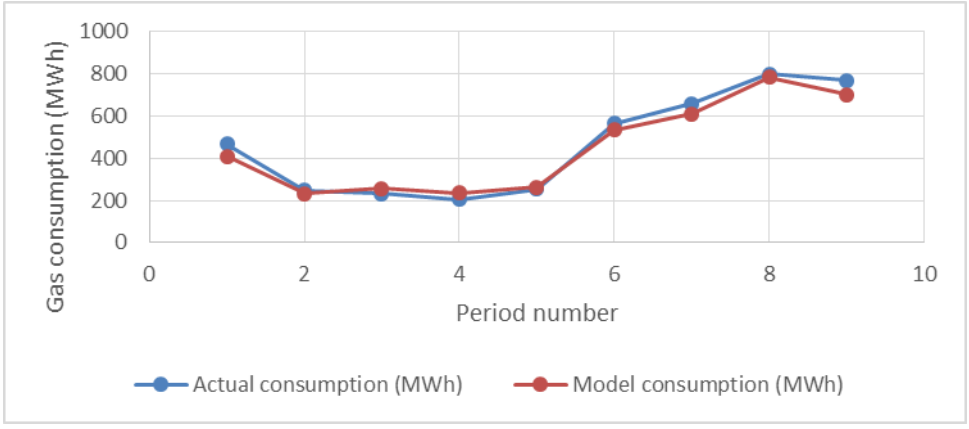


شکل ۲. نمودار مربوط به مصرف برق واقعی مدل و خروجی نرم‌افزار در دوره‌های مختلف

جدول ۲ حاوی اطلاعات مربوط به قبض گاز بیمارستان و میزان مصرف گاز مدل است. خطای مدل در هر بازه اندازه‌گیری و در جدول ثبت شده است. با توجه به جدول خطای مجموع ادوار مدل‌سازی ۳/۸ است که میزان قابل قبولی است. شکل ۳ نیز نمودارهای مربوط به مصرف گاز بر اساس خروجی نرم‌افزار و قبض گاز بیمارستان را در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد که تطابق زیادی با یکدیگر دارند.

جدول ۲. اطلاعات قبض گاز و مقایسهٔ آن با خروجی مدل‌سازی

شمارهٔ دوره	تاریخ شروع	تاریخ پایان	طول دوره	زمان میلادی	مصرف به متر مکعب	مصرف به MWh	مصرف مدل	درصد خطا
۱	۹۸/۱/۱	۲/۴	۳۵	21march-24apr	۴۶۷۱۵	۴۶۷	۴۱۰	۱۲
۲	۲/۴	۳/۲	۳۰	24apr-23may	۲۴۷۴۲	۲۴۷	۲۳۲	۶
۳	۴/۵	۵/۷	۳۴	26june-29july	۲۳۴۲۶	۲۳۴	۲۵۸	۱۰
۴	۶/۵	۷/۴	۳۱	27aug-26sep	۲۰۵۶۲	۲۰۵	۲۳۶	۱۵
۵	۷/۴	۸/۶	۳۳	26sep-28oct	۲۵۴۲۸	۲۵۴	۲۶۳	۳
۶	۸/۶	۹/۵	۳۰	28oct-26nov	۵۶۴۲۷	۵۶۴	۵۳۶	۵
۷	۹/۵	۱۰/۴	۳۰	26nov-25dec	۶۵۹۰۱	۶۵۹	۶۱۲	۷
۸	۱۰/۴	۱۱/۵	۳۲	25dec-25jan	۷۹۹۶۴	۸۰۰	۷۸۵	۱,۸
۹	۱۱/۵	۱۲/۵	۳۱	25jan-24feb	۷۶۸۸۵	۷۶۸	۷۰۳	۸
	مجموع		۲۸۶		۴۲۰۰۵۰	۴۱۹۸	۴۰۳۵	۳,۸



شکل ۳. نمودار مربوط به مصرف گاز واقعی مدل و خروجی نرم‌افزار در دوره‌های مختلف

۲. ۲. ارتقای کارآمدی مدل

پس از تدوین مدل اولیهٔ سیستم انرژی بیمارستان، سناریوهایی در راستای ارتقای کارآمدی مدل پیشنهاد می‌شود که در زیر بیان شده است.

- **سناریوی الف: استفاده از تکنولوژی بازیابی حرارت**

بازیابی حرارتی (Heat Recovery) به سیستمی گفته می‌شود که جریان هوای تازهٔ ورودی به سیستم را با جریان هوای خروجی در تعادل و تعامل قرار می‌دهد و کنترل آب‌وهوایی را ارتقا می‌بخشد. با استفاده از این روش، ملزومات حرارتی سیستم تهویهٔ مطبوع یا هواساز کاهش می‌یابد و در ابعاد سیستم و مصرف انرژی سیستم صرفه‌جویی می‌شود [۹].

- **سناریوی ب: بهبود درزبندی ساختمان جهت کاهش اتلاف انرژی**

یکی از پارامترهای مهم در تعیین میزان انرژی مصرفی ساختمان، میزان انرژی اتلاف‌شده از درزهای ساختمان است. وجود درز در ساختمان امری طبیعی است، ولی به دلیل عبور هوای سرد در زمستان و هوای گرم در تابستان به داخل فضا، باید آن‌ها را به حداقل رساند. برای این منظور، روش‌های مختلفی پیشنهاد می‌شود.

برای مثال، در حوزهٔ ورودی ساختمان و درهای خارجی اقداماتی نظیر ایجاد فضای واسط در ورودی ساختمان با تعبیه دو در متوالی، نصب دستگاه خودکار برای بسته شدن درها، نصب پردهٔ هوا در قسمت ورودی ساختمان و ... پیشنهاد می‌شود.

در حوزهٔ دیوار و سقف، درزگیری منافذ و درزهای بین دیوار و سقف، مسدود کردن نقاط نفوذ هوا از محل عبور تأسیسات مکانیکی و برقی و کانال‌های سیم‌کشی و تنظیم درپوش‌های بیرونی مربوط به اتصالات هواکش و فن‌های تخلیه می‌تواند صورت پذیرد [۱۰].

- **سناریوی پ: بهبود پوستهٔ ساختمان جهت کاهش اتلاف حرارتی**

پوسته به عنوان یکی از عناصر اساسی بنا، مهم‌ترین رابط بین ساختمان و محیط پیرامونش است و می‌تواند نقش مهمی در کنترل مصرف انرژی ساختمان داشته باشد. چگونگی طراحی و مصالح مورد استفاده در پوستهٔ ساختمان از عوامل مؤثر بر مصرف انرژی ساختمان است. کارکردهای پوستهٔ ساختمان عبارت‌اند از: کنترل میزان تابش، میزان تهویهٔ طبیعی و میزان سرمایش و گرمایش. بنابراین، خصوصیات پوستهٔ ساختمان شیوهٔ تعامل انرژی بین بیرون و درون بنا را تعیین می‌کند [۱۱]. با توجه به این نکته، انتخاب نوع مصالح به‌کاررفته در پوستهٔ خارجی ساختمان و عایق‌بندی مناسب دیوارها می‌تواند به میزان قابل توجهی در مصرف انرژی بنا تأثیرگذار باشد. در این سناریو نقش عایق فومی با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در مصرف انرژی بیمارستان بررسی شده است.

- **سناریوی ت: بهبود عملکرد سیستم روشنایی بیمارستان**

روشنایی ساختمان یکی از بخش‌های عمدهٔ مصرف‌کنندهٔ انرژی الکتریکی در بنا است که پتانسیل بالایی برای اجرای راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی دارد. سیستم روشنایی سالانه ۱۸ درصد از کل انرژی مورد نیاز بیمارستان را مصرف می‌کند. از این‌رو، بهبود عملکرد و بهینه‌سازی آن می‌تواند نقش مهمی در کاهش انرژی مصرفی مدل ایفا کند.

سیستم روشنایی فعلی بیمارستان ترکیبی از لامپ‌های پرمصرف قدیمی، لامپ‌های فلوئورسنت و لامپ‌های LED است که با توجه به بیشتر بودن تعداد لامپ‌های پرمصرف در ساختمان در سناریوی پایه سیستم روشنایی به صورت Low Standard در نظر گرفته شده است. در صورتی که تمام لامپ‌های ساختمان با لامپ‌های LED جایگزین شوند؛ انرژی مورد نیاز برای سیستم روشنایی کاهش قابل توجهی می‌یابد. در این سناریو تأثیر جایگزینی لامپ LED با لامپ‌های پرمصرف را بر سیستم انرژی بیمارستان بررسی می‌کنیم.

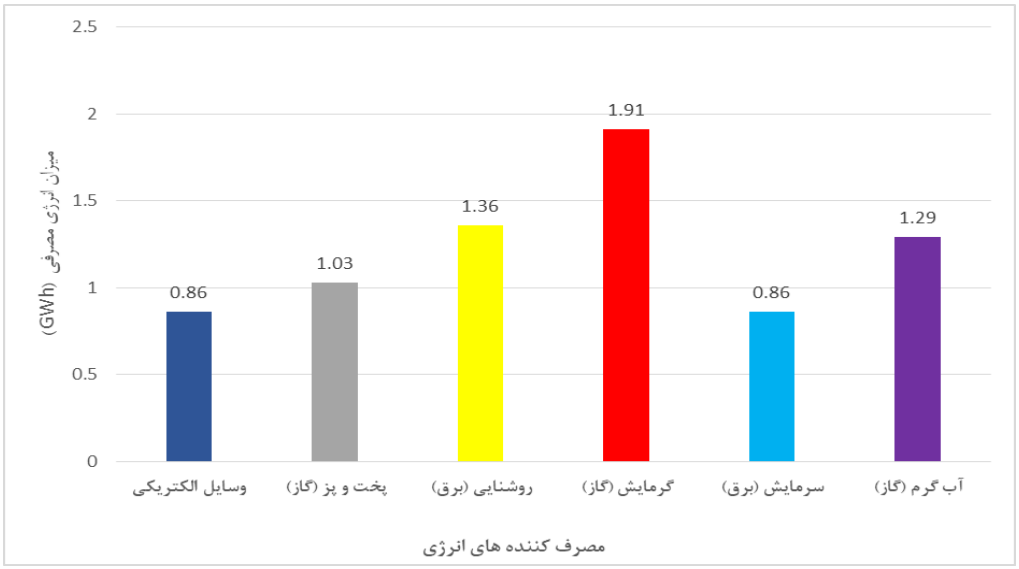
۳. نتایج

پس از وارد کردن اطلاعات مربوط به سیستم انرژی بیمارستان در نرم‌افزار دیزاین بیلدر و انجام مدل‌سازی، خروجی‌های سیستم طی یک سال قابل مشاهده است. اطلاعات ورودی نرم‌افزار در جدول ۳ مشخص شده است.

جدول ۳. اطلاعات واردشده در مدل سناریوی پایه (وضعیت فعلی سیستم)

اطلاعات ورودی	مقدار واردشده در نرم‌افزار
مشخصات جغرافیایی محل قرار گرفتن بیمارستان	Tehran-Mehrabad (35.69° N , 51.31° E)
نقشهٔ ساختمان	با فراخوانی فایل DXF به صورت سه‌بعدی ترسیم می‌شود.
تعیین درها، پنجره‌ها و منطقه‌های ساختمان	با استفاده از نقشهٔ بنا ترسیم می‌شود.
کاربری ساختمان	برای هر منطقه کاربری مربوطه وارد می‌شود. (نظیر آزمایشگاه، اتاق بستری، درمانگاه و ...)
میزان حضور افراد در هر منطقه	با توجه به کاربری منطقه مشخص می‌شود.
دمای آسایش	۲۵-۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد در زمستان و ۲۵ـ ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد در تابستان
آب گرم مصرفی	با توجه به کاربری منطقه مشخص می‌شود.
انرژی مصرفی برای کامپیوتر، تجهیزات اداری و غیره	در هر منطقه با توجه به کاربری و برنامهٔ زمانی واردشده، تعیین می‌شود.
انرژی لازم برای پخت‌وپز	در منطقه مربوط به محل تهیهٔ غذا میزان انرژی لازم و منبع آن مشخص شده است. ($۲۰۰W/m^2$، گاز طبیعی)
جنس و ضخامت دیوارهای بنا	آجر با ضخامت ۴۰ سانتی‌متر (بر اساس ویژگی‌های بنای مورد مطالعه)
نمای ساختمان	سیمان با ضخامت ۵ سانتی‌متر
کیفیت درزبندی بنا	متوسط
نوع پنجره‌ها	دوجداره شفاف
نوع لامپ‌ها	Low standard ($۱۵W/m^2$)
نوع سیستم تهویهٔ مطبوع	Fan coil unit (4 pipe)- Air cooled chiller
ضریب عملکرد سیستم سرمایش و گرمایش	سرمایش : 2. گرمایش: 85.
سیستم تأمین آب گرم مصرفی	بویلر با بازده 85%
منبع انرژی سیستم سرمایش	الکتریسیته
منبع انرژی سیستم گرمایش، آب گرم و پخت‌وپز	گاز طبیعی

طبق نتایج مدل‌سازی بیمارستان، مصرف سالانهٔ برق 3.08 GWh و مصرف سالانهٔ گاز 4.23 GWh است. سهم الکتریسیته و گاز از کل انرژی مصرفی به‌ترتیب ۵۸ و ۴۲ درصد است. شکل ۴ انرژی سالانه مورد نیاز جهت تأمین سرمایش و گرمایش، آب گرم مصرفی، روشنایی، تجهیزات و وسایل الکتریکی ساختمان و انرژی لازم برای پخت‌وپز را نشان می‌دهد که با توجه به آن‌ها گرمایش ساختمان با ۱/۹۱ GWh بیشترین سهم و تجهیزات برقی با GWh ۰/۸۶ کمترین سهم را در مصرف کل دارند. پس بار غالب انرژی مدل به عهدهٔ سیستم گرمایش است. از این‌رو، بهبود بازده سیستم گرمایش ساختمان، تأثیر زیادی بر عملکرد سیستم انرژی خواهد داشت.



شکل ۴. میزان انرژی سالانهٔ مورد نیاز قسمت‌های مختلف سیستم انرژی (خروجی نرم‌افزار)

- **نتایج سناریوی الف (بازیابی حرارت)**

پس از انجام مدل‌سازی و گرفتن خروجی برای سیستم انرژی مجهز به تکنولوژی بازیابی حرارتی، نتایج مربوط به مصرف انرژی مدل به دست می‌آید. با توجه به جدول ۴ مصرف گاز طبیعی در این مدل نسبت به سناریوی پایه حدود ۳۱ درصد کاهش یافته است. از این‌رو، استفاده از سیستم بازیابی حرارت می‌تواند منجر به صرفه‌جویی قابل توجهی در میزان مصرف گاز سیستم شود، به طوری که با نصب سیستم بازیابی حرارت بر مدل، میزان انرژی مصرفی سالانهٔ سیستم گرمایش ۶۸ درصد کاهش می‌یابد. از این‌رو، نصب سیستم بازیابی حرارت تأثیر به‌سزایی بر مصرف انرژی سیستم گرمایش دارد.

- **نتایج سناریوی ب (بهبود درزبندی)**

وضعیت فعلی درزبندی ساختمان، متوسط ارزیابی شده است. با بهبود درزبندی ساختمان می‌توان در مصرف انرژی مدل صرفه‌جویی کرد که مقادیر آن در جدول ۵ مشخص شده است.

با توجه به مقادیر یادشده در جدول ۵ بهبود درزبندی ساختمان موجب صرفه‌جویی سالانهٔ انرژی به میزان MWh ۱۰۰ می‌شود که عمدهٔ آن مربوط به مصرف سالانهٔ گاز است. به بیان دیگر، کیفیت درزبندی ساختمان تأثیر مستقیمی روی عملکرد سیستم گرمایش دارد و باعث بهبود آن می‌شود.

- **نتایج سناریوی پ (بهبود پوسته)**

در این سناریو ابتدا خروجی نرم‌افزار برای فصل زمستان یعنی ماه‌های سرد سال گرفته شده تا تأثیر عایق‌بندی را بر حفظ گرمای داخل ساختمان نشان دهد. با توجه به خروجی‌های به‌دست‌آمده میزان انرژی هدررفته از دیوارهای خارجی ساختمان با وجود عایق تقریباً به میزان یک سوم کاهش می‌یابد. همچنین، میزان انرژی مصرفی برای گرمایش ساختمان و نیز بار گرمایشی نسبت به سناریوی پایه به‌ترتیب ۸/۳ و ۹ درصد کاهش می‌یابد. در نهایت، عایق‌بندی ساختمان باعث می‌شود تا در فصل زمستان میزان گاز مصرفی مدل، به میزان MWh ۱۰۰ کاهش یابد. مقایسهٔ وضعیت انرژی سناریوی پ ۱ با سناریوی پایه در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۴. کاهش مصرف سالانهٔ برق و گاز در سناریوی الف نسبت به سناریوی پایه

واحد GWh	سناریوی پایه	سناریوی الف	میزان کاهش(٪)
مصرف سالانهٔ گاز	۴/۲۳	۲/۹۳	۳۱
مصرف سالانهٔ سیستم گرمایش	۱/۹۳	۰/۶۱	۶۸
کل انرژی مصرفی سالانه	۷/۳۱	۶	۱۸

جدول ۵. مقادیر انرژی مصرفی سالانهٔ سناریوی پایه و سناریوی ب

واحد GWh	سناریوی پایه	سناریوی ب	میزان کاهش (MWh)
مصرف سالانهٔ برق	۳/۰۸	۳/۰۶	۲۰
مصرف سالانهٔ گاز	۴/۲۳	۴/۱۵	۸۰
کل انرژی مصرفی سالانه	۸/۳۱	۷/۲۱	۱۰۰

جدول ۶. مقایسهٔ وضعیت انرژی سناریوی پ با سناریوی پایه

	سناریوی پایه	سناریوی پ ۱	میزان کاهش
انرژی خروجی از دیوارها W/m^2	۷/۲۳	۲/۹۲	۴,۴۴W/m^2 (انرژی هدررفته از دیوارها ۳ برابر کمتر از قبل شده است.)
بار گرمایش GWh	۱/۲۱	۱/۱۲	۹٪
گاز مصرفی جهت تأمین گرمایش GWh	۱/۴۲	۱/۳۲	۷%

حال خروجی نرم‌افزار برای فصل تابستان یعنی ماه‌های گرم سال نمایش داده شده تا تأثیر عایق‌بندی را بر حفظ سرمای داخل ساختمان نشان دهد. با توجه به خروجی‌های به‌دست‌آمده میزان انرژی هدررفته از دیوارهای خارجی ساختمان با وجود عایق حدود ۲/۸ برابر کمتر می‌شود. همچنین، میزان انرژی مصرفی برای سرمایش ساختمان و نیز بار سرمایشی نسبت به سناریوی پایه به‌ترتیب ۱۳/۲ و ۱۳/۵ درصد کاهش می‌یابد. در نهایت، میزان برق مصرفی جهت تأمین سرمایش بنا با وجود عایق نسبت به سناریوی پایه در فصل تابستان ۷۷ MWh کاهش می‌یابد. مقایسهٔ وضعیت انرژی سناریوی پ ۲ با سناریوی پایه در جدول ۷ آورده شده است

- **سناریوی ت (بهبود سیستم روشنایی)**

سناریوی بهبود سیستم روشنایی را می‌توان در قالب تغییر لامپ‌های ساختمان به LED تعریف کرد. با تغییر لامپ‌های مدل و نصب لامپ‌های LED روی سیستم، می‌توان میزان مصرف سیستم روشنایی را به نصف میزان قبل رساند. به بیانی، با تغییر دادن لامپ‌ها و استفاده از لامپ‌های LED مصرف برق روشنایی ۱۰۰ درصد کاهش می‌یابد. نتایج مربوط به سناریوی ث در جدول ۸ قابل مشاهده است.

جدول ۷. مقایسهٔ وضعیت انرژی سناریوی پ ۲ با سناریوی پایه

	سناریوی پایه	سناریوی پ۲	میزان کاهش
انرژی خروجی از دیوارها W/m^2	۶/۴۸	۲/۳	۴/۱۸W/m^2 (انرژی هدررفته از دیوارها ۲٫۸ برابر کمتر از قبل شده است.)
بار سرمایش GWh	۱/۱۸	۱/۰۲	%۱۳/۵
برق مصرفی جهت تأمین سرمایش MWh	۵۸۸/۸	۵۱۱	%۱۳/۲

جدول ۸. مشخصات و نتایج مربوط به سناریوی ت

نام سناریو	مشخصات	مصرف سالانه سیستم روشنایی (GWh)	شدت تابش (W/m^2)
سناریوی پایه	Low standard	۱/۳۶	۱۵
سناریوی ث	LED	۰/۶۸	۱۰
میزان کاهش		%۱۰۰	۵

۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه سیستم انرژی بیمارستان غیاثی تهران با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر مدل‌سازی شده و سهم هر یک از بخش‌های مصرف‌کنندهٔ انرژی در تقاضای سالانهٔ انرژی بیمارستان مشخص شده است. سپس، در راستای ارتقای سیستم و کاهش مصرف حامل‌های انرژی پیشنهادهایی در قالب سناریوهای انرژی مدل مطرح شده و میزان کاهش هر یک از این سناریوها با وضعیت فعلی بیمارستان (سناریوی پایه) مقایسه شده است.

هر یک از سناریوهای پیشنهادی باعث کاهش مقدار مشخصی از انرژی مصرفی سالانه در مدل می‌شوند. با مقایسهٔ میزان کاهش سناریوهای مختلف می‌توان نقش آن‌ها را در کاهش مصرف انرژی سیستم با یکدیگر مقایسه کرد. سناریوی الف یعنی اضافه کردن تکنولوژی بازیابی حرارت به سیستم انرژی بیشترین نقش را در کاهش مصرف گاز سیستم دارد و باعث کاهش ۶۸ درصدی گرمایش سالانه و کاهش ۳۰ درصد مصرف سالانهٔ گاز می‌شود که تأثیرگذارترین سناریو برای مصرف گاز سیستم است.

سناریوی پ یعنی عایق‌بندی سیستم باعث کاهش ۷ درصدی انرژی مورد نیاز برای گرمایش و کاهش ۵ درصدی مصرف گاز مدل در فصل زمستان می‌شود و پس از سناریوی الف در رتبهٔ دوم در حوزهٔ کاهش مصرف گاز مدل، قرار می‌گیرد.

سناریوی ت یعنی بهبود سیستم روشنایی بیشترین تأثیر را در مصرف برق سیستم دارد و باعث کاهش ۲۲ درصدی مصرف برق مدل می‌شود.

سناریوی پ یعنی عایق‌بندی سیستم موجب ۱۳ درصد کاهش توان مورد نیاز برای سرمایش و ۸ درصد مصرف الکتریسیته در تابستان می‌شود؛ که در رتبهٔ دوم تأثیرگذاری بر مصرف برق مدل قرار دارد. رتبهٔ سوم نیز

متعلق به سناریوی ب یعنی بهبود درزبندی سیستم است که موجب ۱ درصد کاهش در سرمایش سالانه و ۰/۶ درصد کاهش مصرف برق می‌شود.

سناریوی ب یعنی بهبود درزبندی بنا با تأثیر ۲ و ۰/۶ درصدی در مصرف سالانهٔ گاز و برق گرچه نسبت به سایر سناریوها تأثیر کمتری بر کاهش مصرف انرژی سیستم دارد؛ اما در صورت پایین بودن هزینه‌های مربوط به پیاده‌سازی و اجرای آن، می‌تواند گزینهٔ مناسبی برای کاهش مصرف انرژی مدل باشد.

از آنجا که قیمت برق نسبت به گاز بالاتر است؛ سناریوهایی که موجب کاهش مصرف الکتریسیته می‌شوند، تأثیر بیشتری بر کاهش هزینه‌ها و پایداری سیستم دارند. با توجه به تفاوت هزینهٔ مربوط به اجرای هر سناریو و صرفه‌جویی حاصل از آن؛ برای انتخاب بهترین سناریو باید تمام جنبه‌های عملیاتی و اقتصادی آن سنجیده شود.

منابع

[1].M. H. Jahangir, S. Eslamnezhad, S. A. Mousavi, and M. Askari, “Multi-year sensitivity evaluation to supply prime and deferrable loads for hospital application using hybrid renewable energy systems,” J. Build. Eng., vol. 40, no. April, p. 102733, 2021, doi: 10.1016/j.jobe.2021.102733.

[2].F. Ascione, N. Bianco, C. De Stasio, G. M. Mauro, and G. P. Vanoli, “Multi-stage and multi-objective optimization for energy retrofitting a developed hospital reference building: A new approach to assess cost-optimality,” Appl. Energy, vol. 174, pp. 37–68, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.04.078.

[3].K. Bawaneh, F. G. Nezami, M. Rasheduzzaman, and B. Deken, “Energy consumption analysis and characterization of healthcare facilities in the United States,” Energies, 2019, doi: 10.3390/en12193775.

[4].A. Carbonari, R. Fioretti, M. Lemma, and P. Principi, “Managing energy retrofit of acute hospitals and community clinics through EPC contracting: The MARTE project.,” Energy Procedia, vol. 78, pp. 1033–1038, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.054.

[5].P. Morgenstern, M. Li, R. Raslan, P. Ruyssevelt, and A. Wright, “Benchmarking acute hospitals: Composite electricity targets based on departmental consumption intensities?,” Energy Build., vol. 118, pp. 277–290, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.02.052.

[6].Z. Gao, Y. Li, and Y. Ning, “The survey and analysis on the energy consumption of hospital buildings in Shandong province,” Procedia Eng., vol. 205, pp. 2485–2492, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.09.977.

[7].A. Biglia, F. V. Caredda, E. Fabrizio, M. Filippi, and N. Mandas, “Technical-economic feasibility of CHP systems in large hospitals through the Energy Hub method: The case of Cagliari AOB,” Energy Build., vol. 147, pp. 101–112, 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.04.047.

[8].A. Eisabegloo, M. Haghshenas, and A. Borzoui, “Comparing the results of thermal simulation of rasoulian house in Yazd by design builder software, with experimental data,” Int. J. Archit. Eng. Urban Plan. (ISSN 2322-4991), vol. 26, no. 2, pp. 121–130, 2016, doi: 10.22068/ijaup.26.2.121.

[9].H. Jouhara, N. Khordehgah, S. Almahmoud, B. Delpech, A. Chauhan, and S. A. Tassou, “Waste heat recovery technologies and applications,” Therm. Sci. Eng. Prog., vol. 6, no. January, pp. 268–289, 2018, doi: 10.1016/j.tsep.2018.04.017.

[10]. I. Uriarte, A. Erkoreka, A. Legorburu, K. Martin-Escudero, C. Giraldo-Soto, and M. Odriozola-Maritorena, “Decoupling the heat loss coefficient of an in-use office building into its transmission and infiltration heat loss coefficients,” J. Build. Eng., vol. 43, p. 102591, 2021, doi: 10.1016/j.jobe.2021.102591.

[11]. M. Rabani, H. Bayera Madessa, and N. Nord, “Achieving zero-energy building performance with thermal and visual comfort enhancement through optimization of fenestration, envelope, shading device, and energy supply system,” Sustain. Energy Technol. Assessments, vol. 44, no. January, p. 101020, 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101020.